

# SÜPERNOVALARLA İLİŞKİLİ GAMA IŞIN PATLAMALARININ OPTİK VE GAMA IŞIN ÖZELLİKLERİ ARASINDAKİ KORELASYON

Özgecan ÖNAL<sup>1</sup>, A. Talât SAYGAÇ<sup>1</sup>, Massimo DELLA VALLE<sup>2</sup>

## Özet

Bu çalışmada, literatürde süpernovalarla (SN) ilişkili oldukları düşünülen gama ışın patlamalarının (GIP) optik ve gama ışın özellikleri arasındaki korelasyon araştırılmaktadır. Çalışmadaki yöntem, her bir SN ile ilişkili GIP adayının Gama Işın ve Optik Işın özellikleri arasındaki korelasyon ile genel olarak bütün adayların (2006 Ağustos itibariyle 50 aday biliniyordu) Gama Işın ve Optik Işın özelliklerini yapılan gözlem sonuçları ve makaleler çerçevesinde incelemek olacaktır. SN'ler ve GIP'ler arasında bir ilişkinin olduğuna dair ilk kanıtlar <sup>[1]</sup> 1998 yılında SN 1998bw <sup>[2]</sup> ve 2003 yılında SN 2003dh ile birlikte elde edilmiştir <sup>[3]</sup>. Her iki süpernova patlaması, gözlemlendiği galaksilerde sırasıyla yaklaşık bir hafta ve on gün önce meydana gelen gama ışın patlamalarının (GRB 980425 ve GRB 030329) olduğu aynı bölgelerde gözlenmişlerdir. SN ve GIP'lar arasındaki ilişkinin ilk kesin kanıtı ise, GRB 030329'un optik ışık eğrisinde (Şekil 1a ve 1b) ve tayfında (Şekil 1c ve 1d) gözlenen özelliklerinden elde edilmiştir <sup>[4]</sup>.

*Anahtar Kelimeler:* gama-ışın patlamaları, süpernovalar

## Abstract

In this work, we are searching for a correlation between gamma-ray and optical ray properties of gamma-ray bursts associated with supernovae. The method of this work will be searching for a possible correlation between optical and gamma-ray properties of each GRB candidate with its related supernovae (by August 2006 only 50 candidate was known) and examining the correlation between optical-ray and gamma-ray properties of all candidates in the basis of observational results and published articles. First proofs of the possible association between SNe and GRBs <sup>[1]</sup> have come in year 1998 with SN 1998bw <sup>[2]</sup> and in year 2003 with SN 2003dh <sup>[3]</sup>. Both SN explosion has been observed in the same area respectively 7 and 10 days after with their related GRBs (GRB 980425 and GRB 030329). First certain proof of SN/GRB relation has been possessed from observed properties of optical light curve (Figures 1a and b) and spectra (Figures 1c and 1d) of GRB 030329 <sup>[4]</sup>.

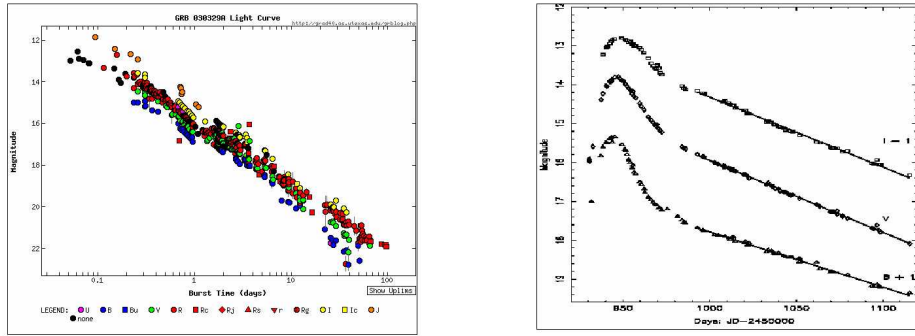
## 1. Giriş

En azından bazı uzun süreli (>2 sn) gama-ışın patlamalarının (GIP) *Tip Ib* ya da *Ic* süpernovaları (SN) ile ilişkili olduklarına dair kanıtlar her geçen gün artmaktadır. SN 1998bw'nun GRB 980425 ile çok büyük bir şans eseri aynı bölgede oluştuklarının gözlenmesinden sonra [9], diğer bir çok SN'lerle ilişkili GIP'ler de rapor edilmiştir (Örneğin; Bloom ve ark. 2002, Garnavich ve ark. 2003). Bütün bu raporlarda ortak olan tek şey, hepsinin GIP ardıl ışınma ışık eğrilerinde çıkıntılarının (bump) algılanmasına dayanmasıydı

<sup>1</sup>İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, 34119-Üniversite, İstanbul

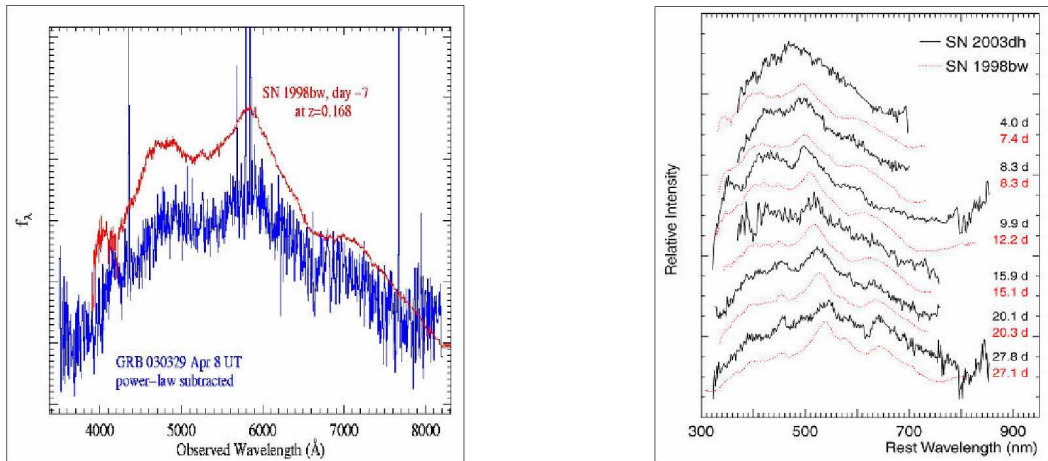
<sup>2</sup>Padova Üniversitesi, Astrofizik Enstitüsü, Padova – İtalya.

(Şekil 2). Bu çıkıntılar, ışık eğrisinde bir süpernovanın varlığından şüphelenilmesine neden olmuştur.



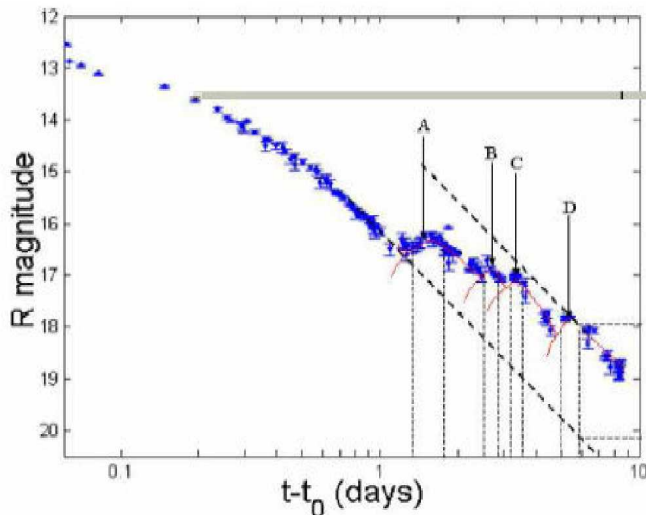
Şekil 1a. GRB 030329'un ışık eğrisi).<sup>[5]</sup>

Şekil 1b. SN 1998bw için R, V ve I bantlarına ait ışık eğrisi. 986'ncı güne kadar olan veriler Galama ve ark. 1998'e ait iken diğer veriler ise şeklin alındığı grubun 992'nci günden (JD 2450992) itibaren elde ettiği verilerdir. B, V ve I filtrelerine karşı düşen bozunma yarı ömürleri sırasıyla  $53.4 \pm 0.8$ ,  $40.9 \pm 0.7$  ve  $41.6 \pm 0.7$  gündür.<sup>[6]</sup>



Şekil 1c. GRB 030329'un ve SN 1998bw ile olan karşılaştırmalı tayfı.<sup>[7]</sup>

Şekil 1d. Hipernova GRB 030329'un görünür bölgedeki tayfı.<sup>[8]</sup>



Şekil 2. GRB 030329'un ilk 9 gün boyunca elde edilen GCN ışık eğrisi. Dikey kesikli çizgiler dört adet "bump" – "çıkıntının" konumlarını işaret etmektedir ( A,  $1.3 \leq t \leq 1.7$  gün, B,  $2.4 \leq t \leq 2.8$  gün, C,  $3.1 \leq t \leq 3.5$  gün ve D,  $4.9 \leq t \leq 5.7$  gün). Kalın, kesikli eğik çizgiler, çıkıntılardan(bump) önce ve sonraki asimptotik bozunma eğimlerini göstermektedir. Yatay kesikli çizgiler bu iki eğri arasındaki kadir farkına işaret ederler. İnce çizgiler ise her bir "yenilenmiş" şok ışık eğrisinin şematik şekillerini temsil etmektedir.<sup>[10]</sup>

SN 1998bw sıradan bir süpernova değildir. Tayfsal özellikleri, yüksek enerjili *Tip Ic* süpernovalarınkine benzemektedir. *Tip Ic* süpernovaları büyük kütleli bir yıldızın (~30M $\odot$ ) küçük C-O çekirdeğinin çökerek en dışta bulunan hidrojen ve helyum zarflarının büyük bir kısmını ya da tamamını dış uzaya fırlattığı süpernova patlamalarıdır.

Patlamanın çok yüksek kinetik enerjisinden dolayı (küresel simetrik patlamada ~5x10<sup>52</sup> erg) ve oldukça yaygın tayfsal çizgilerden dolayı SN 1998bw'ya "*hipernova*" denilmiştir. <sup>[11]</sup> Hipernovalardaki bu yaygın tayfsal özellikler, söz konusu yıldızın fırlattığı maddelerin çok büyük hızlarda hareket ettiğini ve muhtemel olarak çok büyük bir patlama kinetik enerjisine sahip olduğunu gösterir. <sup>[12]</sup> Bu olaydan sonra da başka hipernova olayları ile karşılaşmış ve bunlar analiz edilmiştir, ancak bunların hiçbirinin GIP'larla olan ilişkisi, GRB021211'in ardıl ışınmasının ışık eğrisinde SN 2002lt'ye ait işaretler bulunana kadar <sup>[13]</sup> ortaya konulamamıştır.

GRB021211 / SN 2002lt'nin keşfi ilgi çekici olmakla birlikte yeterli kanıt ortaya koyamamıştır. Bu durum 2003 yılında çok yakın mesafede ( $H_0=71$  km sn<sup>-1</sup> Mpc<sup>-1</sup>,  $\Omega_M=0.27$  ve  $\Omega_\Lambda=0.73$  ve  $z=0.73$  için  $d_A=589$  Mpc <sup>[14]</sup>) meydana gelen GRB 030329'un (Greiner ve ark., 2003) ardıl ışınmasında patlamadan yaklaşık 10 gün sonra SN'nin özelliklerinin gözlenmesi ile bir kesinlik kazanmıştır. Süpernovaya ait yaygın bant özellikleri ilk önce Stanek ve ark. (2003) ardından Hjorth ve ark. (2003) tarafından bildirilmiştir. <sup>[11]</sup> Söz konusu süpernova SN 2003dh 'tır.

## 2. Yöntem

Bu çalışmada literatürü tarayarak farklı kaynaklarda beyan edilen GIP'larla ilişkili SN'ler (Tip Ib/c) ve SN'ler (Tip Ib/c) ile ilişkili GIP'lar toplanmıştır. Bu tarama sonucunda 50 aday bulunmuştur. Adaylarla ilgili bazı temel problemler vardır. Bunlardan başlıcaları şöyledir: Bazı adayların sadece GIP gözlemleri varken, bazı adayların sadece SN gözlemleri vardır. Sadece 34 adayın hem GIP hem de SN gözlemi yapılabilmektedir. Bu çalışmada ise literatürde rölatif olarak daha fazla incelenmiş 14 GRB/SN adayını inceleyeceğiz (Bkz. Tablo 1a).

**Tablo 1.** GRB'ler ve ilişkili oldukları SN'ler gösterilmektedir. Ayrıca SN'lerin türleri de burada yer almaktadır. SN tipleri için kullanılan referanslar <sup>[15],[16]</sup>

GRB	Keşfeden Uydu	SN	Keşfedenler	SN Tipi
060218	Swift	2006aj	Masetti ve ark. 2006; Soderbergh, Berger, Kulkarni&Schmidt 2006; Fugazza ve ark. 2006; Mirabal ve Harpern 2006b; Fatkhulin ve ark. 2006; Mazzali&Pian 2006; Modjaz ve ark. 2006	HN
050525A	Swift	2005nc	Della Valle ve ark. 2005	HN
031203	Integral - IBAS	2003lw	Tagliaferri ve ark. 2004	HN
030329	HETE-2	2003dh	Stanek ve ark. 2003; Chomock ve ark. 2003; Zaritsky ve ark. 2003	HN
021211	HETE-2	2002lt	Della Valle ve ark. 2002	Ic
011121	BeppoSAX	2001ke	Garnavich ve ark. 2001	HN
991021	bilinmiyor	1999ex	Martin ve ark. 1999	Ic
980910	BATSE	1999E	Perez ve ark. 1999	IIn
980425	BeppoSAX	1998bw	Galama ve ark. 1998	HN
971115	BATSE	1997ef	Sano 1997	HN
971013	BATSE	1997dq	Matheson ve ark. 1997	Ib
970514	BATSE	1997cy	Reiss ve ark. 1997	IIn
961218	BATSE	1997B	Gabrijelcic 1997	Ic
960221	BATSE	1996N	Martin ve ark. 1996	Iib

## 2.1. Gama-Işın Özelliklerinin İncelenmesi

Süpernovaların gama-ışın toplamı parlaklığın 4. kuvvetini kapsarken, pik esnasındaki lüminozite, genişleme hızları gibi "optik" özellikler, en çok ~ 5 ile 10 kat arasında değişmektedir. Bu durum alt-enerjili (yani SN'lerle ilişkili olduğu düşünülen GRB'ler) ve kozmolojik GRB'ler arasındaki farklılığın, SN patlamalarının özelliklerine bağlı olamayacağını gösterir. Çünkü süpernova özellikleri benzerdir, ancak SN'in sahip olduğu kinetik enerjisinin önemli miktarlarda rölativistik jetlere dönüştürebilme etkinliği ile ilişkilidir. Bu durum yerel evrende ( $z < 0.1$ ), GRB fenomeninde gözlenen rölativistik enerjilerin oynadığı rol göz önüne alındığında şaşırtıcı gelmeyebilir, bu durum "standart" tip Ib/c süpernovaları ( $\sim 10^{51}$  erg) ya da HN ( $\sim 10^{52}$  erg) patlamalarında kinetik enerjinin küçük dalgalanmaları olarak görünür. Kozmolojik GRB/SN olaylarında, gama-ışınlarında yayınlanan enerji, SN kinetik enerjisinin (ortalama  $\sim 10^{50}$  erg) sadece küçük bir kesridir<sup>[17]</sup>.

Enerji dağılımlarının incelenmesinde dikkate alınan kriter izotropik eşyönlü enerji dağılımları, pik lüminozite enerji değerleri, jet açılma açısı, SN izotropik kinetik enerjisi, SN pik parlaklığı, GRB'nin öncül pik enerjisi, kırmızıya kayma değerleridir.

**Tablo 2.** a) Bu tabloda verilen değerler HN modelleri ile ilişkili SN bileşeninin optik verileriyle yapılan modellerden (örn; tek boyutlu sentez kodu<sup>[18]</sup> elde edilmiştir. b) 2, 3, 4, 5 ve 7. satırlarda yer alan GIP'lar<sup>[17]</sup>. c) GRB 011121'e ait bilgiler<sup>[19]</sup>ten alınmıştır. d) Diğer adaylara ait enerji verilerinin alındığı kaynaklar<sup>[20], [21], [22]</sup>

Adaylar (HN)	$E_{iso, prompt}$ ( $10^{50}$ erg)	$E_{p,i}$ (keV)	$\theta_{jet}$ ( $^\circ$ )	$E_{jet, prompt}$ ( $10^{50}$ erg)	SN $E_{k,iso}$ ( $10^{50}$ erg)	SN pik parlaklığı	z
GRB 060218	0.62±0.03	4.9±0.3	>57	0.05-0.65	20-40	-18.8±0.1	0.0335
GRB 050525A	339±17	127±10	4.0±0.8	0.57±0.23	n.a.	-18.9 <sup>+0.1</sup> <sub>-0.5</sub>	0.6060
GRB 031203	1.0±0.4	<200	-	<1.4	500-700	-19.5±0.3	0.1050
GRB 030329	170±30	100±23	5.7±0.5	0.80±0.16	~400	-19.1±0.2	0.1700
GRB 021211	339±17	127±52	8.8±1.3	1.07±0.13	n.a.	-18.9	1.0100
GRB 011121	270	-	>10	-	-	-19±0.2	0.3620
GRB 991021	-	-	-	-	27	-	-
GRB 980425	0.01±0.002	55±21	-	<0.012	200-500	-19.2±0.1	0.0085
GRB 980910	-	-	-	-	-	<-19.5	-
GRB 971115	-	-	-	-	175	-15.87	-
GRB 971013	-	-	-	-	200	-	-
GRB 970514	-	-	-	-	-	-17.7	-
GRB 961218	-	-	-	-	-	-	-
GRB 960221	-	-	-	-	-	-	-

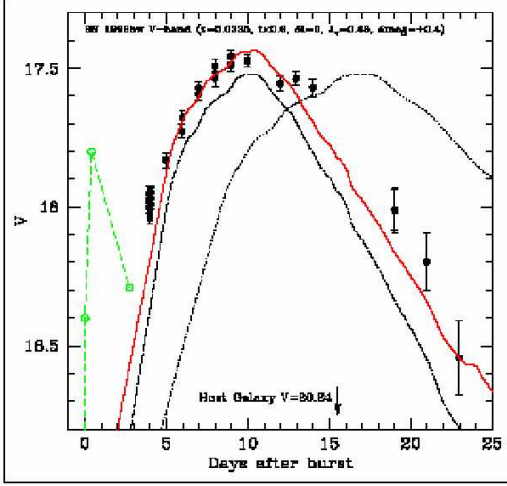
## 2.2 Optik Işın Özelliklerinin İncelenmesi

İncelemeler ışık eğrileri ve tayfların incelenmesi biçiminde yapılmıştır. Bu doğrultuda GIP ve SN olarak ışık eğrilerini ikiye ayırdık. Ardından GIP ya da SN ayrımı gözetmeksizin adaylara ait tayfları ele aldık. Tayfları biçimsel ve çizgi özelliklerine göre iki aşamalı olarak inceledik. Burada her adaya ait GIP ve SN ışık eğrilerine ulaşamadığımızı hatırlatmak yararlı olacak.

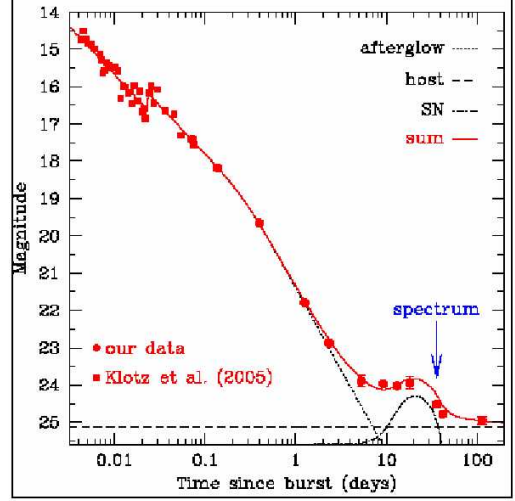
### 2.2.1. Işık Eğrilerinin İncelenmesi

#### 2.2.1. GIP Işık Eğrileri

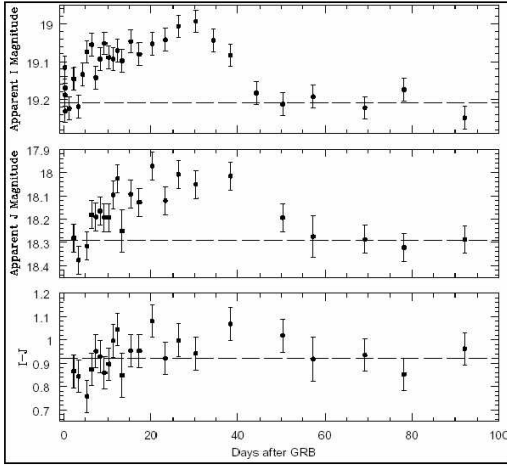
Bu bölümde *GRB 060218*, *GRB 050525A*, *GRB 031203*, *GRB 030329*, *GRB 021211* ve *GRB 011121*'e ait GIP ışık eğrileri üzerinden yorumlar yapılmaktadır. Genel bir referans olarak SN 1998bw'nun ışık eğrisi kullanılmıştır.



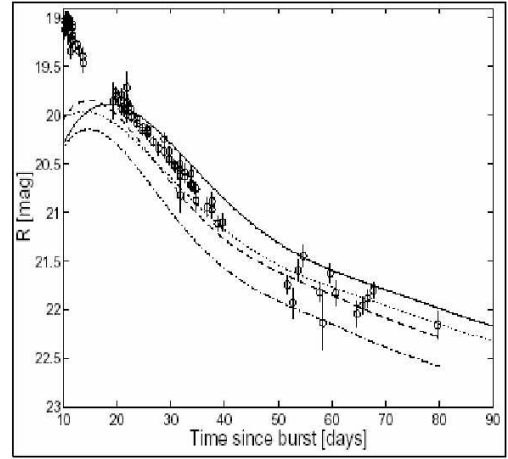
a GRB 060218<sup>[23]</sup>



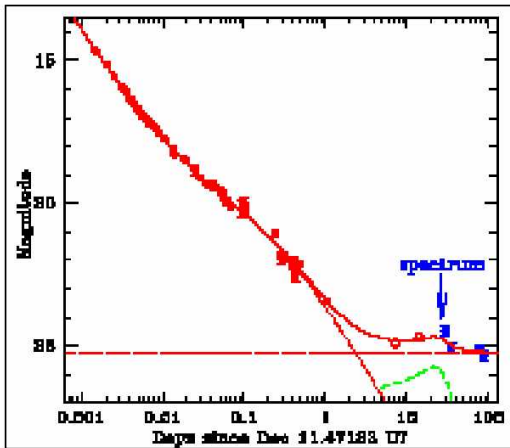
b GRB 050525A<sup>[24]</sup>



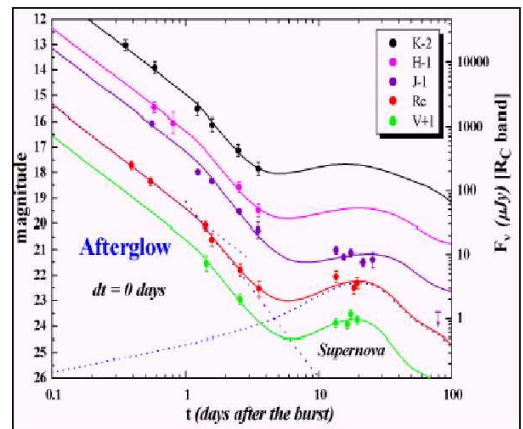
c GRB 031203<sup>[25]</sup>



d GRB 030329<sup>[26]</sup>



e GRB 021211<sup>[27]</sup>



f GRB 011121<sup>[28]</sup>

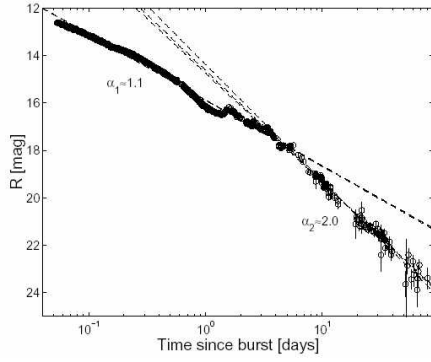
Genel olarak grafiklere bakıldığında, bant ayrımı yapılmaksızın yaklaşık 10. günden sonra ve 20. gün civarlarında birkaç kadirlik parlamalar görülmektedir. Bu parlamalar, meydana gelen süpernova patlamalarından kaynaklanmaktadır.

**a'**da GRB 060218'in GCN sirküler raporlarından ve FLWO 1.2 m'lik teleskobu ile alınmış verilerden elde edilen erken zaman V bandı ışık eğrisi (içi dolu noktalar), SN 1998bw'nun GRB 060218'in kırmızıya kayma değerine göre yeniden hesaplanmış, daraltılmış ve bir miktar kaydırılmış ışık eğrisi ile karşılaştırılmaktadır. Burada süpernova çıkıntısının şekli ve piki açık olarak görülmektedir. GIP ardıl ışması ve şok kırılmasının birleşimine bakıldığında çok çabuk bir şekilde azaldıkları ve SN bileşeninin optik ardıl ışmanın erken zamandaki ışığın büyük bir kısmını oluşturduğu görülmektedir. Literatürden SN 2006aj'nin yükselme zamanının Tip *Ic* süpernovaları için ölçülen zamanlar içinde en kısa olanı olduğunu, ayrıca GRB 980425/SN 1998bw ve GRB 030329/SN 2003dh'ın zamanlarından da kısa oldukları görülmektedir (~14 - 16 gün (Galama ve ark. 1998); Matheson ve ark. 2003). SN 2006aj nerdeyse SN 1998bw kadar parlaktır. Bu durum GIP'larla ilişkili SN'lerin davranışları ile kıyaslandığında sıradışı bir durumdur. ~12-15. günler arasında kısa bir düzleşme görülmektedir. SN 2006aj'nin bu davranışına bakılarak bunun; ***hızlı gelişen bir SN olduğu, SN'in ve GIP'in ±1 gün aralıkla meydana geldiği ve optik ardıl ışmada SN bileşeninin ışığının baskın olduğu sonucuna varılmıştır.*** [23]

**b'**de GRB 050525A'nın R bandındaki ardıl ışma ışık eğrisi görülmektedir (kırmızı renkli içi dolu kare ve daireler farklı grupların yaptığı gözlemleri ve düz kırmızı çizgi ise bunlara geçirilen fittir). Noktalı, kesikli ve noktalı-kesikli çizgiler sırasıyla ardıl ışmayı, ev sahibi galaksiyi ve SN katılımını göstermektedir. Grafikte R~24 kadirde ışık eğrisinin patlamadan sonra 5. günden başlayarak 20. güne kadar düzleştiği görülmektedir. Yapılan çalışmalarda patlamanın meydana geldiği galaksinin ( $R < 25^m.0$ ) bu fazdaki katılımı ~%40 olarak belirlenmiştir. Fit olarak geçirilen düz çizgi SN 1998bw'nun ışık eğrisi üzerinde yapılan bir takım oynamalarla elde edilmiştir. GIP'in meydana geldiği doğrultudaki sönmüleme  $A_R = 0.25$  kadirdir ancak, galaksinin sönmüleme miktarı bilinmemektedir. ***Çeşitli teorik hesaplar sonucunda GRB 050525A ile ilişkili SN 2005nc'nin SN 1998bw'dan sadece 0.3 kadir daha sönük olduğu bulunmuştur.*** [24]

**c'**de GRB 031203'ün I ve J bantlarındaki ışık eğrisi görülmektedir. Üst paneldeki ışık eğrisinde GRB 031203'ün I bandındaki ardıl ışmasının, SN'in ve patlamanın meydana geldiği galaksinin katılımları bir aradadır. Kesikli çizgiler ev sahibi galaksinin I kadirleridir ( $19^m.21$ ). Orta panelde J bandında GIP ardıl ışması, SN ve galaksinin katılımlarından elde edilen eğri görülmektedir. Kesikli çizgi J bandındaki galaksi katılımıdır ( $18^m.29$ ). Parlaklıktaki yükselme ve bozunma Tip *Ic* süpernovalarıyla uyum sağlamaktadır. Alt panelde ise I-J renk evrimi görülmektedir. Kesikli çizgi galaksini I-J rengini gösterir ( $0^m.92$ ). Bu grafikler açıklık fotometrisinden elde edilen veriler ile çizilmiştir [25].

**d'**de GRB 030329'un optik ardıl ışmasının R bandındaki ardıl ışma eğrisini göstermektedir (çemberler). Bu veriler SN 2003dh'ın dört tane modellerden elde edilmiş olan ışık eğrileri ile kıyaslanmaktadır. Çizilen çizgiler şöyledir: Düz çizgi, SN 1998bw'nun k-düzeltilmesi yapılmış ışık eğrisidir; Noktalı çizgi, SN 1998bw'nun ışık eğrisine kadirsal ve zamansal kayma uygulanmış hali gösterir; Kesikli çizgi, SN 1998bw'nun ışık eğrisine en iyi uyan kadir kayması ve daraltma düzeltmeleri uygulandıktan sonraki durumdur; Kesikli-noktalı çizgi, SN 1998bw'nun ışık eğrisinin  $0^m.3$  sönükleştirildiği, zaman daraltması ve kadir kayması uygulandığı durumdaki modeldir. Yapılan çalışmalar, SN 2003dh'ın SN 1998bw'a çok benzediğini ortaya koymaktadır, tek fark ardıl ışmanın 20. günden sonra daha parlak olduğunun gözlemesidir. Sonuç olarak yapılan hesaplamalardan SN 2003dh'ın, SN 1998bw'dan 0.3 kadir daha sönük, ve zaman bakımından 0.8 kat daha kısa olması gerektiği bulunmuştur.



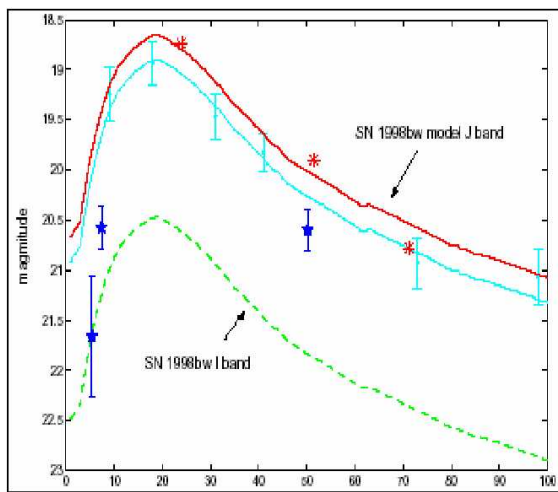
Yandaki grafiğe bakıldığında GRB 030329'un ardıl ışınmasının, SN'in ve patlamanın meydana geldiği galaksinin 0,5 saat ve 10 gün arasında değişen zaman aralığında kuvvetli değişimler ortaya koyduğu görülmektedir [26]

*e*'de GRB 021211'in R bandındaki ardıl ışınma ışık eğrisi görülmektedir (daireler ve çemberler farklı kaynaklardan alınan verileri gösterir). Noktalı çizgi ardıl ışınmanın, kesikli çizgiler ise patlamanın meydana galaksinin katılımını temsil ederler. Kesikli çizgi SN 1994I'nın  $A_V=2$  ile kızarmış ve  $z=1.006$ 'daki ışık eğrisini temsil etmektedir (Lee ve ark. 1995). Düz çizgi üç katılımın toplamını göstermektedir. Grafiğe bakıldığında ~ 15. günde yeni bir parlamanın meydana geldiği görülmektedir, bu parlamaya Ocak ayının ilk haftasında R'de yaklaşık 24.5 kadirde maksimum yapar. Eğriye dikkatli bakıldığında kırılmalar görülebilir, bu da ardıl ışınma katılımıyla ilgili bir takım belirsizliklere yol açmaktadır. Bu durumun sebebi belki de altta yatan iki ya da üç parlamadan olabilir. Yapılan fotometrik çalışmalardan GRB 021211/SN 2002lt ilişkisi SN/GRB gecikmeleriyle ilgili önemli ipuçları sağlamıştır. Yapılan tayfsal ve fotometrik çalışmalar SN'in ve GIP'in 1 ün aralıklarla meydana geldikleri bulunmuştur [27].

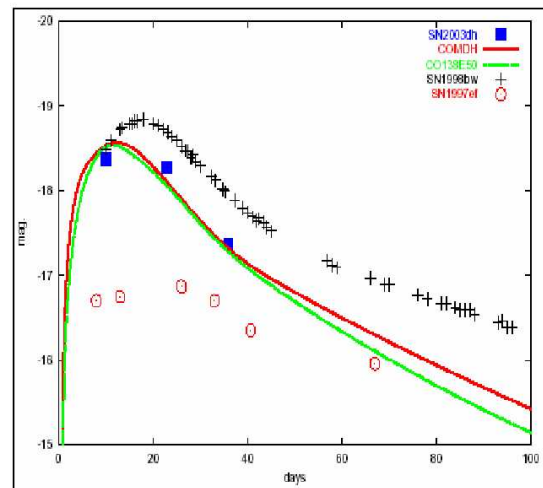
*f*'de GRB 011121'e ait bütün fotometrik bantlardaki ışık eğrileri görülmektedir. GRB 011121'in ışık eğrisinde yaklaşık 10. günde özellikle V bandında başlayan yeniden parlamadan, belirgin bir SN katılımı görülmektedir. GRB 011121'in ışık eğrisi sıradan güç kanunu ekstrapolasyonlarının üzerinde bir artış salma ile oldukça net bir durumu temsil etmektedir. GRB 011121'in artık ışığı SN 1998bw'nunkinden bir miktar daha mavidir [28].

### 2.2.1.b SN Işık Eğrileri

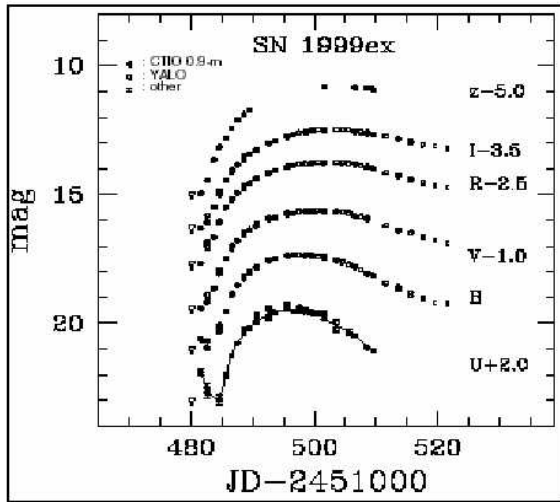
Bu bölümde SN 2003lw, SN 2003dh, SN 1999ex, SN 1999E, SN 1998bw, SN 1997ef, SN 1997dq, SN 1997cy, SN 1996N'e süpernovalarına ait ışık eğrileri incelenmiştir. Bazı eğrilerde ardıl ışınma katılımları da yer almaktadır.



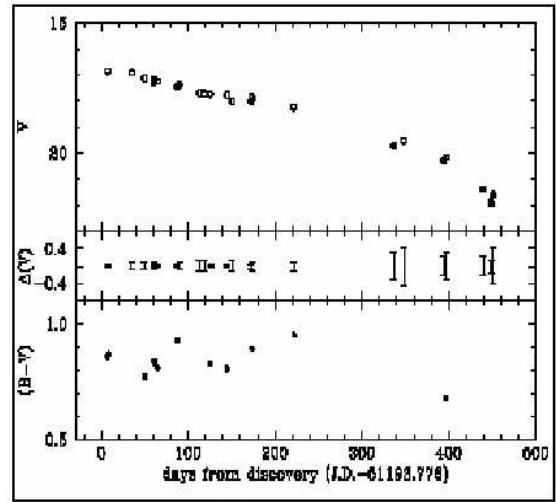
a SN 2003lw [29]



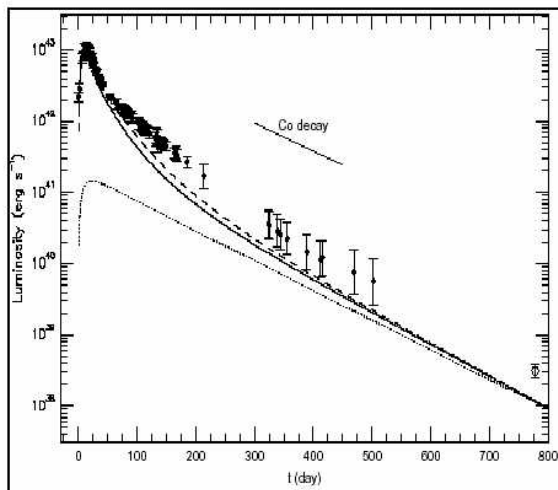
b SN 2003dh [30]



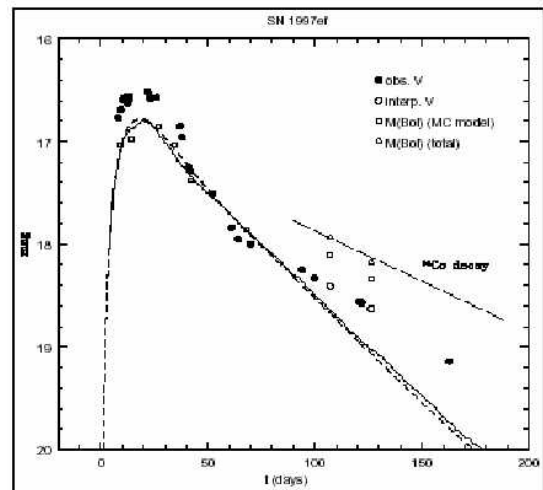
d SN 1999ex [20]



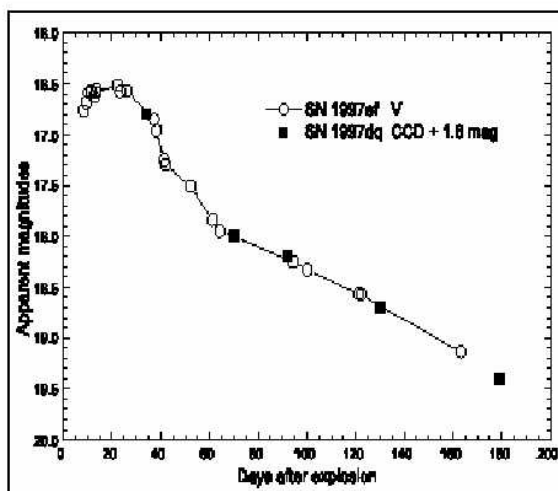
e SN 1999E [21]



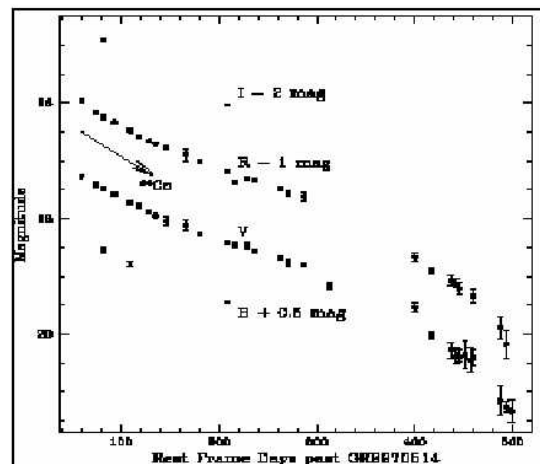
f SN 1998bw [31]



g SN 1997ef [22]

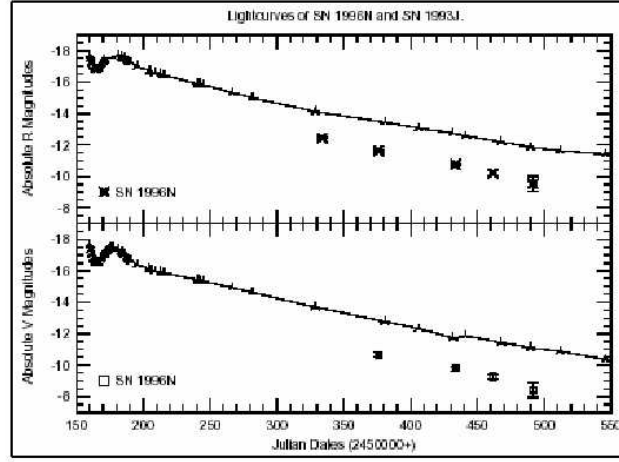


h SN 1997dq [22]



i SN 1997cy [32]





j SN 1996N<sup>[33]</sup>

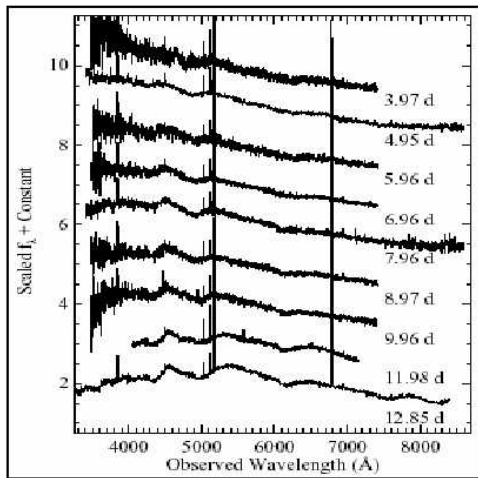
Süpernova ışık eğrilerinin zaman aralıkları oldukça geniş alınmıştır. O nedenle ki maksimumdan sonraki bir kaç yüz gün içerisinde yavaş azalmalar görülmektedir. Bazı süpernovalarda bu azalma sürecinde yer yer küçük parlamalar da saptanmıştır. Süpernova ışık eğrileri aslında GRB ardıl ışına eğrilerinin devamını göstermektedir. Görünüş itibariyle süpernovanın yükselip maksimum yaptığı küçük koninin ardından yüzlerce gün süren yavaş sönmüşme süreci başlar.

## 2.2.2. Tayfların İncelenmesi

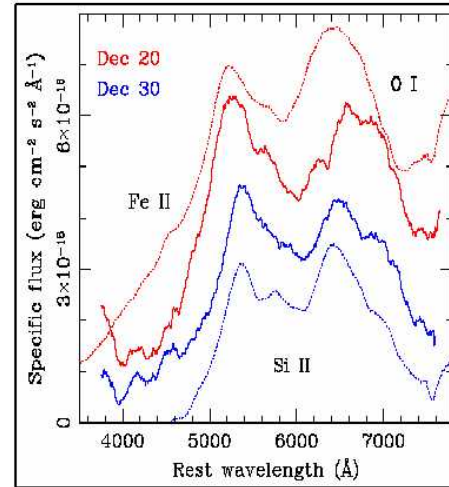
### 2.2.2.a Tayfların Şekilleri

Bu bölümde adaylara ait tayfsal evrimi, tayfların şablon olarak kullanılan diğer tayflarla uyumunu, tayfların genel yapısını inceleyeceğiz. Şekilsel incelemenin yapılacağı adaylar: GRB 060218/SN 2006aj, GRB 050525A/SN 2005nc, GRB 031203/SN 2003lw, GRB 030329/SN 2003dh, GRB 021211/2002lt, GRB 011121/SN 2001ke, GRB 991021/SN 1999ex, GRB 980910/SN 1999E, GRB 980425/SN 1998bw, GRB 971013/SN 1997dq, GRB 970514/SN 1997cy ve GRB 961218/GRB 1997B.

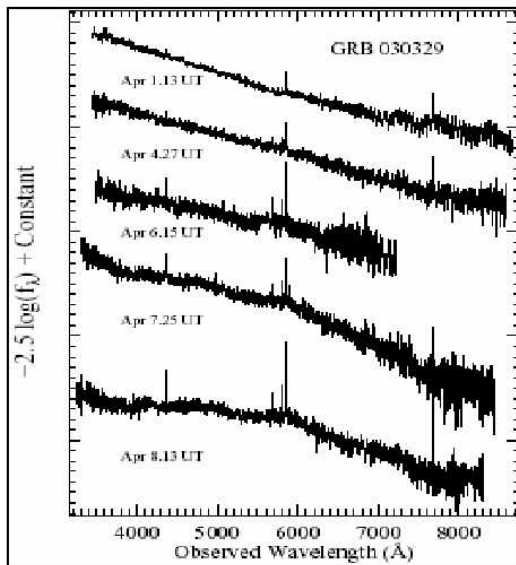
### İlk olarak tayfsal evrimlere bakalım:



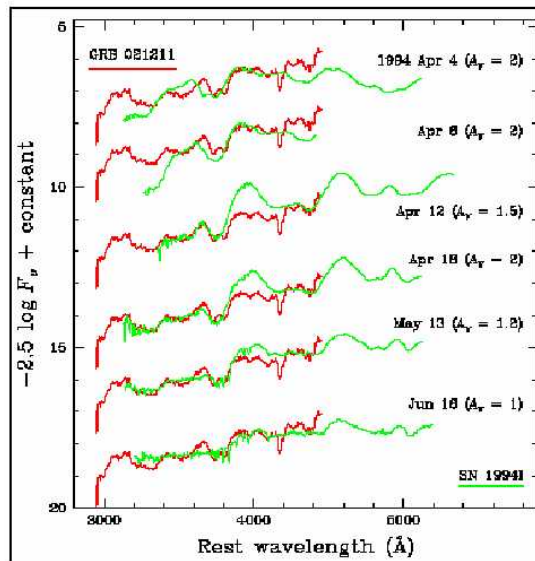
a GRB 060218/SN 2006aj<sup>[23]</sup>



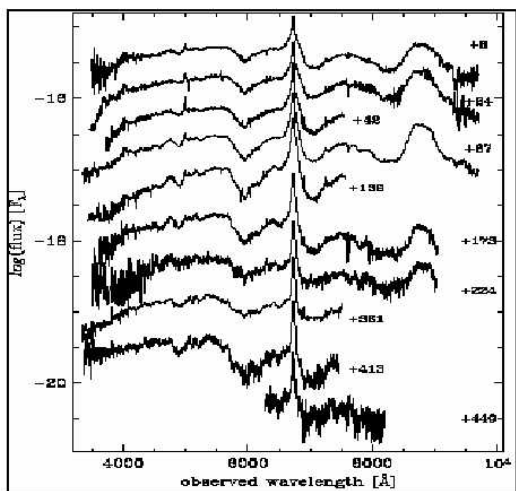
b GRB 031203/SN 2003lw<sup>[34]</sup>



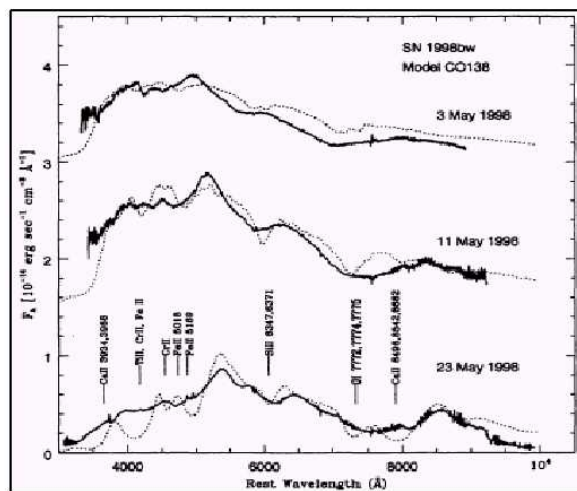
c GRB 030329/SN 2003dh [3]



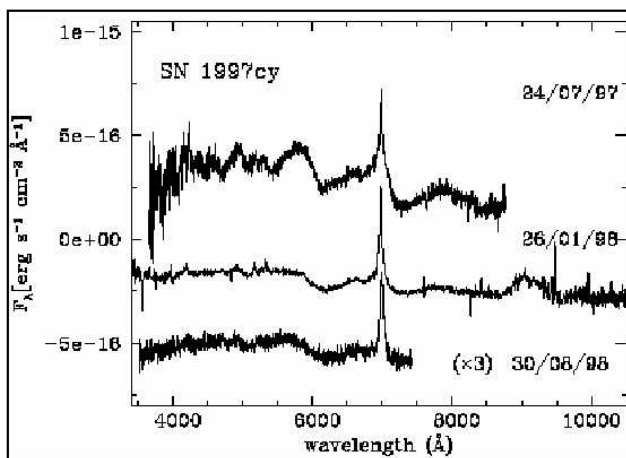
d GRB 021211/SN 2002lt [13]



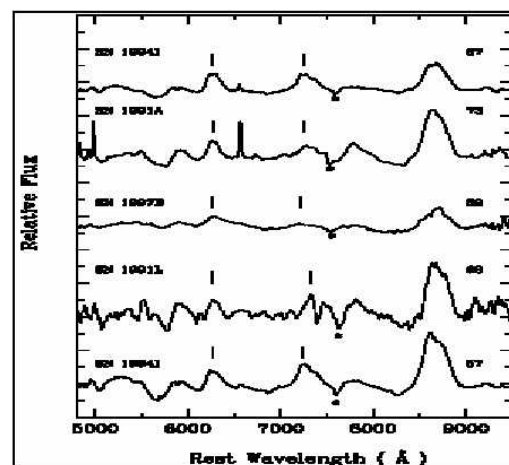
e GRB 980910/SN 1999E [21]



f GRB 980425/SN 1998bw [35]



g GRB 970514/SN 1997cy [36]



h GRB 961218/SN 1997B [37]

Üstte GIP'larla ilişkili olan SN bileşenlerinin bazılarında ait tayfsal evrim görülmektedir. Tayflarda görülmesi beklenen şey yaygın çizgi özellikleridir, bunun anlamı çok yüksek hızda dönmedir. Tip Ib/c süpernovalarının sahip olduğu temel karakteristiklerden biridir. Adaylarımıza şöyle bir bakacak olursak;

**a'**da GRB 060218/SN 2006aj'nin Şubat 22.12 UT'den (patlamadan 3,97 gün sonra) Mart 3.00 UT'ye (patlamadan 12,85 gün sonra) kadar gözlenen tayfsal evrimi görülmüyor. Bütün tayflara baktığımızda, 4000 Å'den önce yaklaşık 3850 Å'de, 4400 ile 4500 Å arasında, 5000 Å'de, yaklaşık 5300 Å'de ve yaklaşık 6800 Å'de emisyonlar bulunmaktadır. Tayfların eğimi genel olarak aynıdır. Hepsinde 4500 Å civarında bir tepe, 5000 Å civarında bir çukur ve 5000'i geçtikten kısa bir zaman sonra daha hafif bir yükselme görülmüştür. Sonra yavaşça giden bir azalma gözlenmiştir. <sup>[23]</sup>

**b'**de 20 Aralık ve 30 Aralık 2003 tarihlerinde alınmış SN 2003lw'nun tayfi görülmektedir (düz çizgi). 250Å genişliğindeki boxcar filtresi ile düzleştirilmiştir. Noktalı çizgiler 9 Mayıs ve 19 Mayıs 1998 tarihlerinde alınmış (GRB'den 13.5 ve 23.5 gün sonra, yani V bandı maksimumundan 2 gün önce ve 7 gün sonra), Galaktik söntüleme kanunu ve  $E_{B-V}=1.1$  ile söntülenmiş olan <sup>[44]</sup>SN 1998bw'nun tayfını göstermektedir <sup>[45]</sup>. SN 1998bw'nun tayfi, sunum amacıyla dikey doğrultuda yeri değiştirilmiştir <sup>[34]</sup>. VLT tayfında 4500 ile 5000 Å aralığında Fe II soğurma çizgisi; ~6000 Å' de Si II soğurma çizgisi; 6500 ile 7000 Å arasında O II, 7000 ile 7500 Å arasında O I ve Ca II soğurması gözlenmiştir. Şekilsel olarak incelerseniz; iki adet çift pikli hörgüç vardır. Birinci çift piklinin 1. ve 2. Pikinin maksimum enerjileri birbirine yakın ( $5 \times 10^{-15}$  ve  $\sim 4,5 \times 10^{-15}$  erg.cm<sup>-2</sup>.sn<sup>-1</sup>.Å<sup>-1</sup>) iken, ikinci çift piklinin 1. Piki çok yüksek, 2. Piki çok alçaktır. Birinci çift pikli hörgüç, ~ 5000 ile 7000Å aralığındayken, ikinci çift pikli hörgüç ~ 7500 Å ile 10500 Å aralığındadır. Büyük dalgaboylarında gelen enerji daha fazla olmuştur. Dağılım, SN 1998bw'nun dağılımına benzemektedir. <sup>[34]</sup>

**c'**de bakıldığında GRB 030329/SN 2003dh'm tayfsal evrimi görülmektedir. En üstteki tayf ile en alttaki tayf arasında belirgin farklılıklar vardır. 8,13 Nisan 2003 UT 'de alınan tayfta geniş (yayvan) pikler görülmektedir. Bu pikler süpernova karakteristiğini ortaya koymaktadırlar. Her bir tayfta dar emisyon çizgilerine rastlanmıştır. Söz konusu çizgilerin kaynağı, patlamanın olduğu galaksideki HII bölgeleridir. Çizgilerin şiddetleri 8,13 Nisan 2003 UT'deki tayfta daha da artmıştır. <sup>[3]</sup>

**d'**de GRB 021211'in çıkıntısının tayfının, SN 1994I'nın farklı zamanlarda alınmış tayfları ile kıyaslanması. Her grafik tayfa daha iyi uyum sağlaması için farklı  $A_V$ 'ye sahiptir (bu değerler <sup>[44]</sup>ünortaya koyduğu söntüleme kanunundan adapte edilmiştir). Referans olması için, SN 1994I, 9 Nisan 1994 yılında B bandındaki maksimumuna ulaşmıştır. <sup>[13]</sup>

**e'**de Tip Ib/c SN 1999ex'in tayfi ile Ib sınıfının prototipi SN 1984L'nin, Tip Ic SN'i SN 1994I ve 1987M'nin maksimum yakınındaki tayfının kıyaslanması görülmektedir. Kalın işaretler SN 1999ex'in tayfındaki HeI çizgilerini gösterir. He çizgilerinin uzunlukları Tip Ic'den Tip Ib'ye doğru yavaş yavaş artar ve SN 1999ex bu iki sınıf arasındaki bir köprü olarak görülmektedir. <sup>[21]</sup>

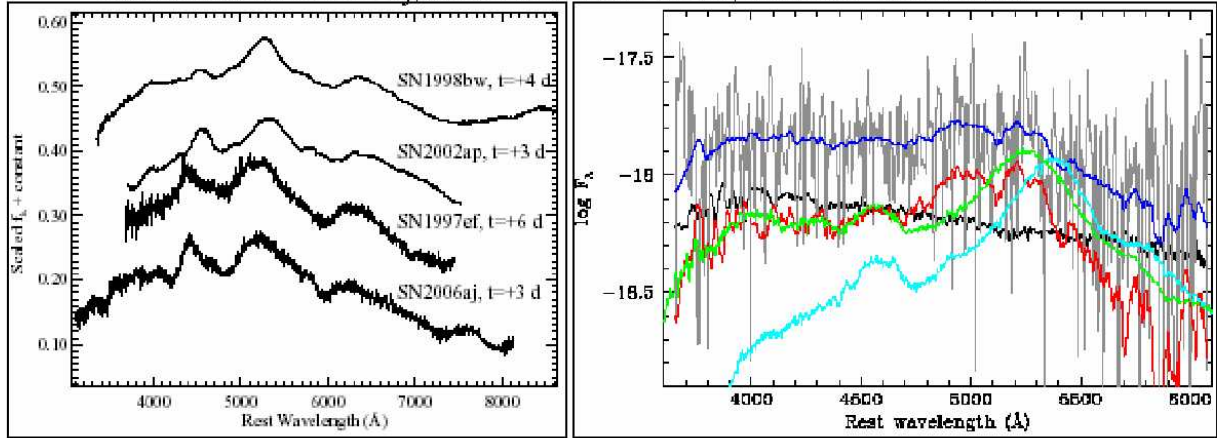
**f'**te SN 1998bw (düz çizgi) ve model kullanılarak hesaplanan sentetik tayfin (kesikli çizgi) karşılaştırılması. <sup>[35]</sup>

**g'**de SN 1997cy'nun tayfsal evrimini tanımlayan üç tayf görülmektedir. Ordinat eksenini en üstteki ilk tayfa göre ayarlanmıştır. Diğer tayflar  $3 \times 10^{-6}$  erg.sn<sup>-1</sup>.cm<sup>-2</sup>.Å<sup>-1</sup> kadar aşağıya kaydırılmıştır ve sonuncusu 3 ile çarpılmıştır. <sup>[36]</sup>

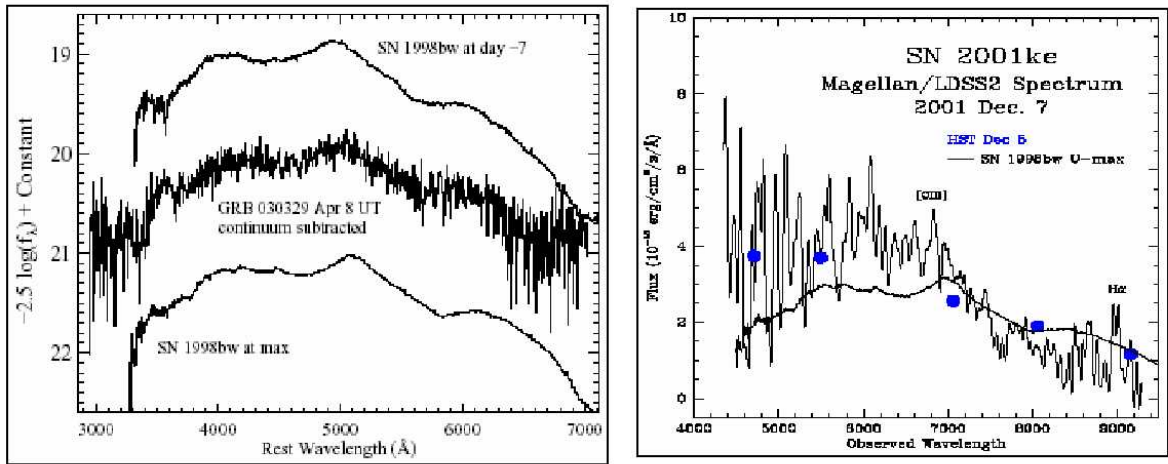
**h'**de SN 1997B'nin tayfiyle karşılaştırılabilir fazlarda elde edilmiş olan Tip Ic süpernovalarının tayfları görülmektedir. Her tayfa ait faz sağ üst köşede belirtilmiştir ve artık tellürik soğurma ise asterikslerle belirtilmiştir. Dikey ekseninde, tayfların akıları [O I] pik şiddetlerine uygun olarak normalize edilmiştir, ve tayf kesinlik için birkaç birim kaydırılmıştır. Her bir tayfta [O I] ve [Ca II] emisyonları dikey çizgi ile işaretlenmiştir. <sup>[37]</sup>

**Şimdi de tayfların şablon tayflar ile karşılaştırılmasını inceleyelim:**

**a** GRB 060218/SN 2006aj, GRB 980425/SN 1998bw, GRB 971115/SN 1997ef <sup>[23]</sup>

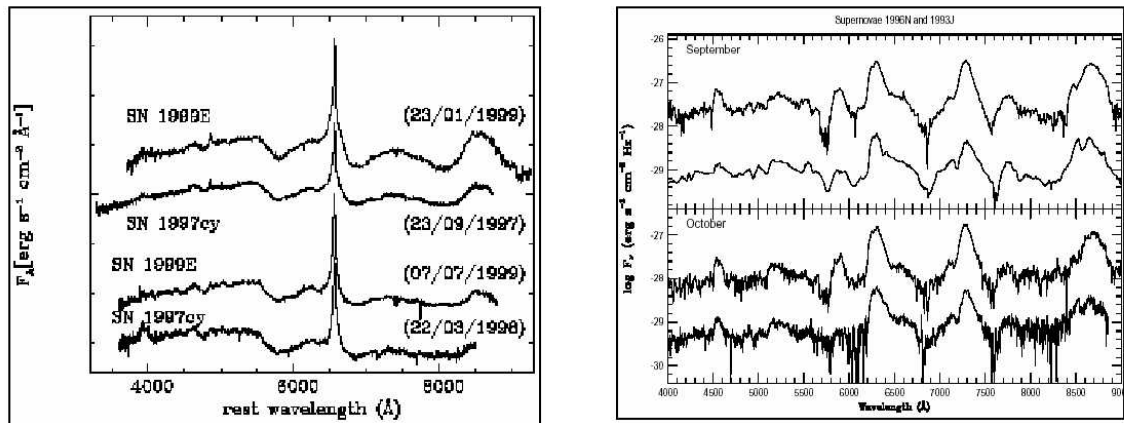


**b** GRB 050525A/SN 2005nc ve GRB 980425/SN 1998bw <sup>[24]</sup>



**c** GRB 030329/SN 2003dh ile GRB 980425/SN 1998bw <sup>[3]</sup>

**d** GRB 011121/SN 2001ke ile GRB 980425/SN 1998bw <sup>[19]</sup>



**e** GRB 980910/SN 1999E ile GRB 970514/SN 1997ey <sup>[21]</sup>

**f** GRB 961218/SN 1996N <sup>[33]</sup>

**a**'daki tayfa bakınca 2006 yılında Mart 3.0 UT'de alınan GRB 060218/SN 2006aj'nin tayfı görülmektedir. Bu patlamadan 12.85 gün sonra alınmıştır, yani V maksimumundan 3 gün sonra. Tayfta kullanılan diğer şablonlar SN 1997ef ve SN 1998bw'nun tayfları ise V maksimumundan sırasıyla 3 ve 4 gün sonra alınmıştır. SN 2002ap'nin ve SN 1997ef'nin

tayfları SN 1998bw'dan daha iyi uymaktadır. Tayftan ev sahibi galaksiye ait çizgiler çıkarılmıştır. <sup>[23]</sup>

**b'**de GRB 050525A/SN 2005nc'ye ait tayfın SN 1998bw şablonu kullanılarak kıyaslanması görülmektedir. Gri çizgi: GRB 050525A'nın çıkıntı boyunca elde edilen gözlenen tayfidir. Mavi çizgi: *Rebinned* tayftır. Siyah çizgi: Mavi, yıldızı oluşumunun olduğu galaksinin şablon tayfidir. Kırmızı çizgi: Çıkarılabilir tayf (mavi-siyah). Yeşil çizgi: SN 1998bw'nun maksimumdan 5 gün sonraki tayfidir. Cyan çizgi: SN 1998bw'nun maksimumdan 10 gün sonraki tayfidir. <sup>[24]</sup>

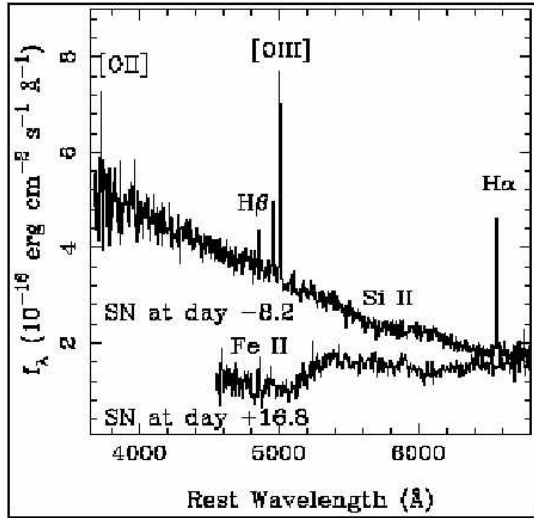
**c'**de SN 2003dh'nin SN 1998bw ile karşılaştırma tayfi: Bu tayf, 1 Nisan 2003'e ait ve 8 Nisan 2003'e ait tayfların birleştirildiği ve sürekliliğin çıkarıldığı bir artık tayfidir. Artık tayfi, SN 1998bw'nun maksimumdan bir hafta önceki ve maksimumdaki tayfları ile karşılaştırılmıştır. Bu bağlamda  $\sim 5000\text{\AA}$  ve  $4200\text{\AA}$  (rest frame) civarında yaygın çıkıntılar görülmektedir. Bu durum sıradışı (peküler) Tip Ic süpernovasının maksimum ışıktan 1 hafta önceki haline benzemektedir <sup>[45]</sup>. Tayflar uzun dalgaboylu bölgede bir uyum göstermemektedir. <sup>[3]</sup>

**d'**de 7 Aralık 2001'de Magellan'daki LDSS2 tayfçeki ile alınmış SN 2001ke'nin tayfi görülmektedir. Tayf,  $30\text{\AA}$  FWHM Gausyen çekirdek ile düzeltilmiş ve sönmüleme için düzeltilmiştir. Karşılaştırma için, 5 Aralıkta ait HST yaygın bant akı ölçümleri de sönmüleme için düzeltilmiştir, bunlar büyük daireler olarak gösterilmiştir. Tayfta belirgin süpernova özellikleri yoktur, ancak U bandı maksimum ışığındaki zamanda ve  $A_V=0.2$  kadirlik düzeltme ile SN 1998bw ile kıyaslama yapıldığında, verilerin verilen sinyal-gürültü oranlarından süpernova özelliklerinin zorlukla tespit edilebileceğini ortaya koymaktadır. Bu tayfta yaklaşık  $6800\text{\AA}$  civarında [OIII] emisyonu ve  $\sim 9000\text{\AA}$  civarında H $\alpha$  emisyonu görülmektedir. [OIII] emisyonunun maksimum akısı  $5 \times 10^{-18}$  erg, H $\alpha$  için  $2,5 \times 10^{-18}$  erg'tir. <sup>[19]</sup>

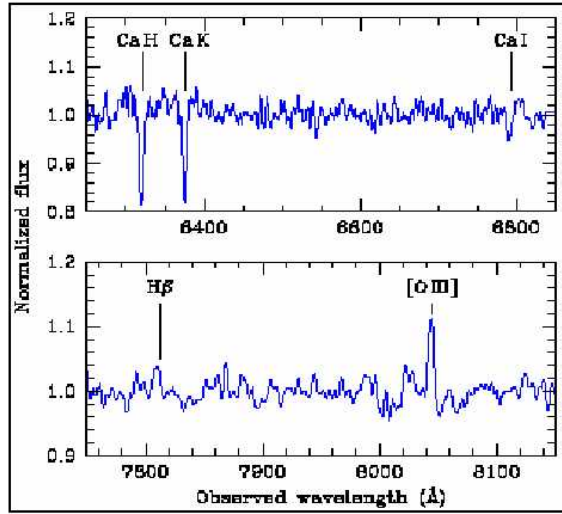
**e'**de SN 1999E ile SN 1997cy'nin tayfları karşılaştırılmaktadır. Tayflar patlamaların meydana geldiği galaksilerin eylemsizlik sistemlerine göre düzeltilmişlerdir. Üstteki iki tayf GRB'den 135 gün geçtikten sonra elde edilmiştir, muhtemelen bir SN ile ilişkilidir (SN 1999E'nin keşfinden beri +8 gün); altta yaklaşık 300. gün dolaylarında elde edilen tayf görülmektedir (SN 1999E'nin keşfinden beri +173 gün geçmiş). Ordinat ölçeği SN 1999E'nin üstteki tayfını gösterir, diğer tayf ise keyfi miktarda aşağıya kaydırılmıştır. Altteki iki tayf karşılaştırmanın kolaylaştırılması için 2 katsayısı ile çarpılmıştır. <sup>[21]</sup>

**f'**de SN 1996N ve 1993J'nin geç zaman tayfidir. En üstteki panelde 7 Eylül 1996'da, SN 1996N'nin keşfinden 179 gün sonra elde edilen tayfi görülmektedir. Altında La Palma veri tabanından alınan SN 1993J'nin tayfi görülmektedir. Bu tayf keşfinden 176 gün sonra 20 Eylül 1993'te alınmış tayfi görülmektedir. Altteki panelde keşfinden 221 gün sonra alınmış SN 1996N'in tayfi görülmektedir, onun altında ise SN 1993J'nin keşfinden 224 gün sonra alınmış tayfi görülmektedir. Akı ölçekleri SN 1996N içindir ve SN 1993J'nin tayfi 3.5 dex kaydırılmıştır. <sup>[33]</sup>

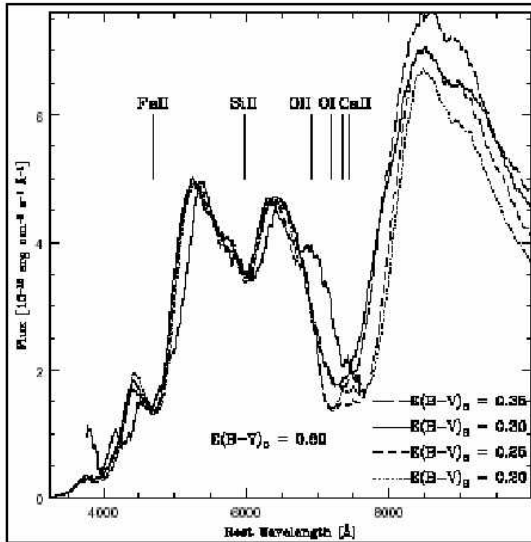
### Tayflardaki Çizgi Özelliklerinin İncelenmesi



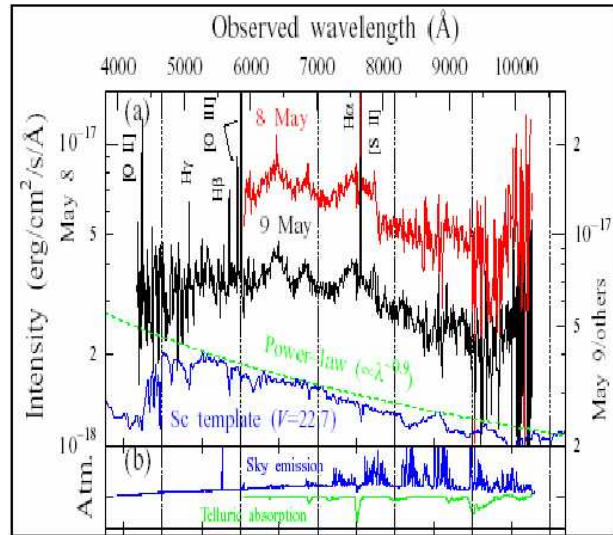
a GRB 060218/SN 2006aj [38]



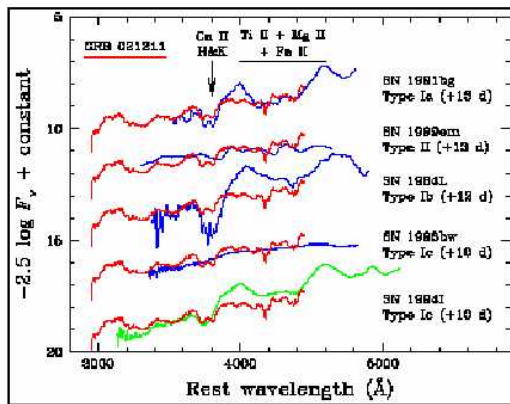
b GRB 050525A/SN 2005nc [24]



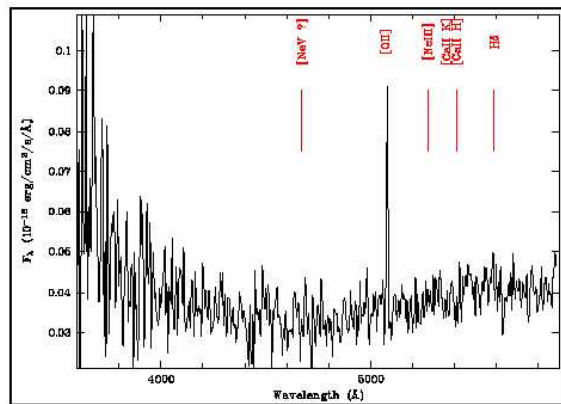
c GRB 031203/SN 2003lw [39]



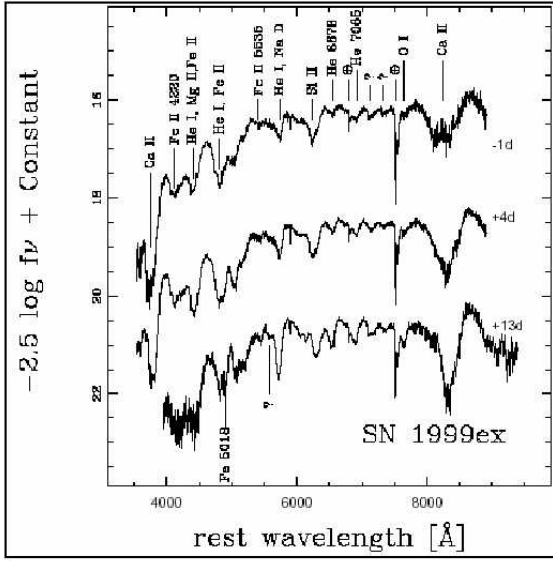
d GRB 030329/SN 2003dh [40]



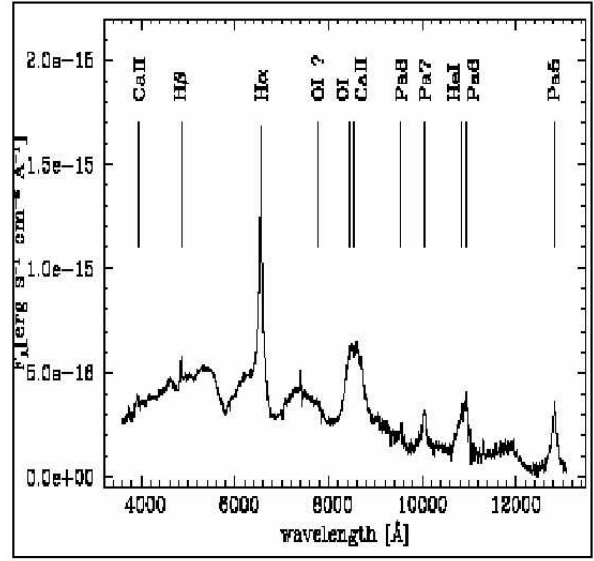
e GRB 021211/SN 2002lt [27]



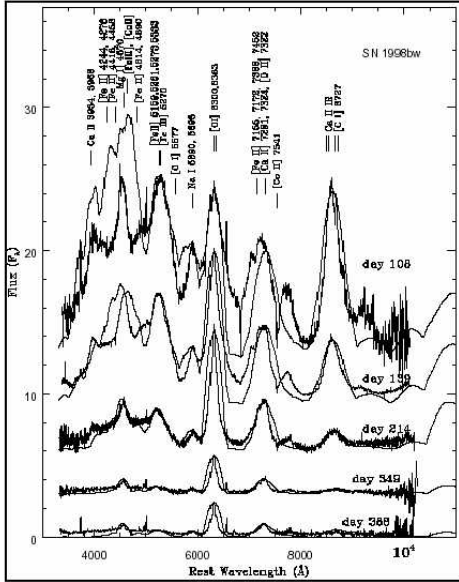
f GRB 011121/SN 2001ke [28]



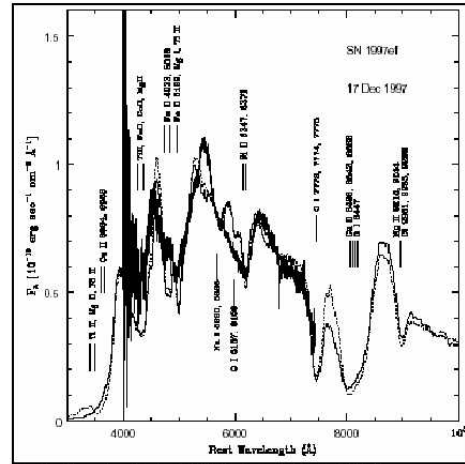
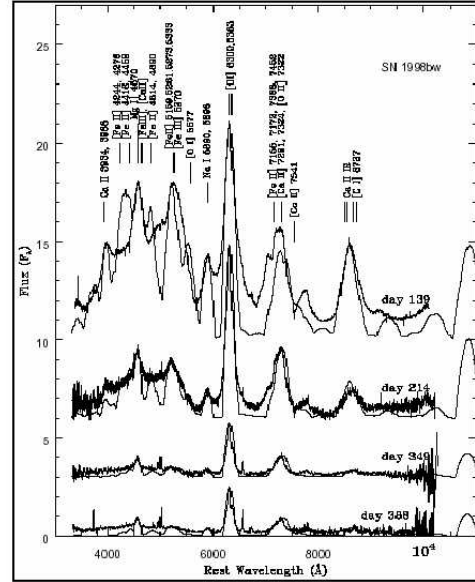
g GRB 991021/SN 1999ex<sup>[20]</sup>



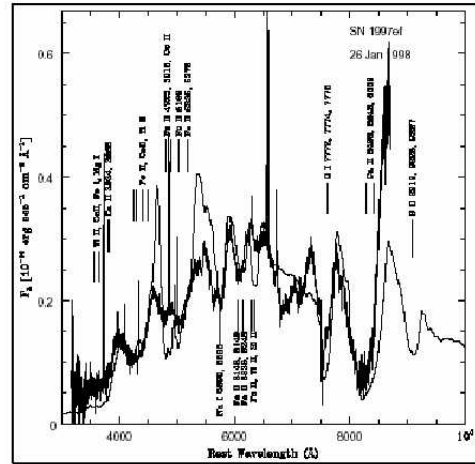
h GRB 980910/SN 1999E<sup>[21]</sup>

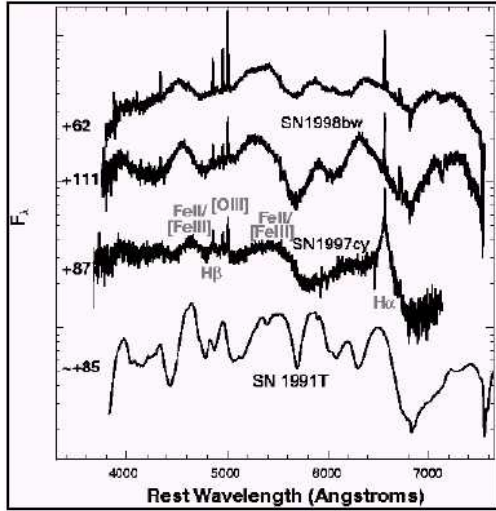


i GRB 980425/SN 1998bw<sup>[41]</sup>

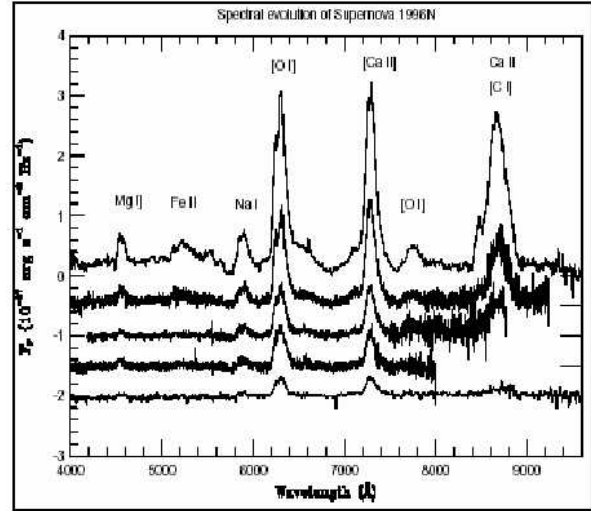


j GRB 971115/SN 1997ef<sup>[42]</sup>

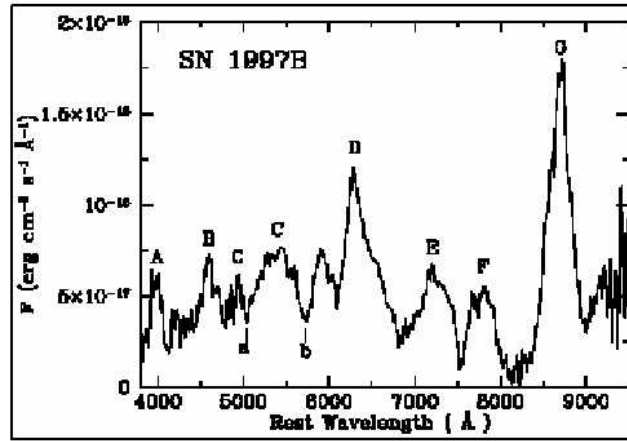




*k* GRB 970514/SN 1997cy<sup>[32]</sup>



*l* GRB 960221/SN 1996N<sup>[33]</sup>



*m* GRB 961218/SN 1997B<sup>[37]</sup>

Tayfların geneline baktığımızda erken zamanlarda alınan tayflarda baskın olan çizgiler H $\beta$ , H $\alpha$ , Fe II, Fe III, O II, [Fe II], [Fe III][O II], [O III], [CaII H], [CaII K], OI, [O I], Mg II, Ti II, Si II, [C I]... emisyon çizgileridir. Burada yer alan yasak çizgiler genişleyen bir kabuğu temsil ediyor olabilir. Çünkü yasak çizgiler düşük yoğunluklu bölgelerde oluşurlar. Örneğin HII bölgeleri, nebular evreler... Buradan itibaren genişleyen gazın hızını tayin edebiliriz. H $\beta$  çizgisi optik bölgede gözlenebilecek en güçlü çizgidir. Bu çizgi ortamdaki şoku temsil edebileceği gibi fotoiyonizasyon mekanizmasını da temsil edebilir.<sup>[43]</sup>

### 3. Tartışma ve Sonuç

Adaylara ait gama-ışın verilerinin bu bildiriye hazırladığımız süreye kadar geçen zaman içerisinde yetersiz oluşu yapılan bu ön çalışmada ulaştığımız sonuçlarda bir eksiklik yaratmaktadır. O nedenle burada ağırlıklı olarak optik özelliklerden bahsedilebilmiştir. Çalışmanın yüksek lisans tezi çerçevesinde ilerleyen zamanlarda genişletilecek olması gama-ışın ve optik-ışın özellikleri arasındaki korelasyon konusunda yargıya varabilmemizi kolaylaştıracaktır.

GIP eğrilerine baktığımızda fark edilen ilk şey GRB'nin tetiklenmesinden sonraki ilk iki hafta içerisinde yeniden parlamaların görülmesidir. Tipik olarak ortaya çıkan bu durum



süpernova patlamasının bir etkisidir. Ayrıca ışık eğrilerinin bazılarında (burada gösterilememiş olsa da) ilerleyen zamanlarda daha küçük çıkıntılarda gözlenmiştir. Bunların ise patlamanın olduğu bölge ile aramızda yer alan yıldızlararası ortamda gerçekleşen bir takım fiziksel süreçler olduğu düşünülmektedir.

SN ışık eğrilerine baktığımızda SN'in maksimumundan sonraki bir kaç yüz gün içerisinde parlaklığın çok yavaş bir biçimde azalmaya devam ettiği görülmüştür. Bu azalma bütün fotometrik bantlarda kendini göstermektedir.

Tayfların zamansal evrimine bakıldığında genel olarak tayfta yer alan çizgilerin şiddetlerinin zamanla arttığı görülmektedir. Ayrıca SN karakteristiği olarak yaygın emisyon çizgileri dikkati çekmektedir. Bu aynı zamanda yüksek dönme hızlarının da işaretçisidir.

Tayfların şablon tayflarla kıyaslanması yapıldığında ortaya çıkan sonuçlar genel olarak şöyle özetlenebilir: SN 1998bw ve SN 1997ef birbirine çok benzemektedir. SN 1999E ve SN 1997cy 'ye ikiz diyebiliriz (Bunlar Tip II'n süpernovalarıdır). SN 2006aj'nin tayfsal görünümü SN 1998bw'ya oldukça uymaktadır. SN 1999ex, Tip Ic ve Tip Ib süpernovaları arasındaki bir geçiş cismi sayılabilir. Sonuçta SN tipinin hipernova (HN) olarak belirlendiği adaylar SN 1998bw'ya daha fazla benzemektedirler.

Tayflar geç zamanda alınmış tayflardır, genel olarak nebular evrelerde alınmışlardır. O nedenle gözlenen çizgiler ağırlıklı olarak yasak çizgilerdir. Optik bölgedeki en şiddetli çizgi olan H $\beta$  çizgisi'nde egemenliğini korumaktadır. Bununla birlikte bazı tayflarda diğer hidrojen çizgileri de görülmüştür.

#### Kaynaklar

- [1] Bosnjak, Z. ve ark. (2003), ApJ, 597, 1010
- [2] Galama, T. J. ve ark. (1998), Discovery of the Peculiar Supernova 1998bw in the error box of GRB 980425, Nature, 395, 670-672.
- [3] Stanek, K. Z. ve ark. (2003), Spectroscopic Discovery of the Supernova Associated with GRB 030329, astro-ph/0304173
- [4] Zhang ve Meszaros, 2006, International Journal of Modern Physics (IJMPA), 18, 2.
- [5] Şekil 1a: <http://grad40.as.utexas.edu/grblog.php?view=data&GRB=20030329A&datatype=optical>
- [6] Şekil 1b: Eric, H., McKenzie and Bradley, E., Schaefer, astro-ph//: 9904397
- [7] Şekil 1c: <http://cfa-www.harvard.edu/~tmatheson/compgrb.jpg>
- [8] Şekil 1d: <http://www.nature.com/nature/journal/v423/n6942/images/nature01750-f2.0.jpg>
- [9] Galama, T.J. et al. 1998, Nature, 395, 670
- [10] Nakar, E., Piran, T. , 2003, "The Variable Light Curve of GRB 030329: The Case for Refreshed Shocks, Jonathan Granot, Institute for Advanced Study", Olden Lane, Princeton, NJ 08540 ; astro-ph//:0304563
- [11] Mazzali, P.A., Deng, J., Tominaga, N., ..., The Type Ic Hypernova SN 2003dh/GRB 030329
- [12] Kawabata ve ark. (2003) Subaru FOCAS Spectropolarimetry of Type Ic Hypernova SN 2003dh/GRB 030329
- [13] Della Valle, M. ve ark. (2003), Evidence for Supernova Signatures in the Spectrum of the Late-time Bump of the Optical Afterglow of GRB 021211, astro-ph/0306298.
- [14] Taylor, G. B. ve ark. (2004), The Angular Size and Proper Motion of the Afterglow of GRB 030329, The Astrophysical Journal, 609:L1-L4, 2004 July 1
- [15] Tablo 1: <http://supernovae.net>
- [16] Tablo 1: Della Valle, M. (2006), Supernova and GRB Connection: Observations and Questions, astro-ph/0604110
- [17] Amati, L. ve ark. (2006), Implications of the Consistency of GRB 060218/SN 2006aj with the  $E_{p,i}$ - $E_{iso}$  Correlation, astro-ph/0607148
- [18] Mazzali, P.A., Deng, J., Pian, E., et al. 2006, ApJ, 645, 1323
- [19] Garnavich, P. M. ve ark. (2002), Discovery of the Low-Redshift Optical Afterglow of GRB 011121 and Its Progenitor Supernova 2001ke, astro-ph/0204234
- [20] GRB 991021/SN 1999ex: Hamuy, M. ve ark. (2002), Evidence for Core Collapse in the Type Ib/c SN 1999ex, astro-ph/0212368
- [21] GRB 980910/SN 1999E: Rigon, L. ve ark. (2003), SN 1999E. Another Piece in the SN-GRB Connection Puzzle, MNRAS, 340, 191-196
- [22] GRB 971115/SN 1997ef ve GRB 971012/SN 1997dq: Mazzali, P. A. ve ark. (2004), Properties of Two Hypernovae Entering the Nebular Phase: SN 1997ef ve SN 1997dq, astro-ph/0409575

- [23] Modjaz, M. ve ark. (2006), Early Time Photometry and Spectroscopy of the Fast Evolving SN 2006aj Associated With GRB 060218, astro-ph/0603337
- [24] Della Valle, M. ve ark. (2006), Hypernova Signatures in the Late Rebrightening of GRB 050525A, astro-ph/0604109
- [25] Cobb, B. E. ve ark. (2004), Discovery of a Supernova Associated with GRB 031203: SMARTS Optical-Infrared Lightcurves from 0.2 to 92 days, astro-ph/0403510
- [26] Lipkin, Y. M. ve ark. (2003), The Detailed Optical Light Curve of GRB 030329, astro-ph/0312594
- [27] Della Valle, M. ve ark. (2003), Evidence for Supernova Signatures in the Spectrum of the Late-time Bump of the Optical Afterglow of GRB 021211, astro-ph/0306298
- [28] Greiner, J. ve ark. (2003), GRB 011121: A Collimated Outflow Into Wind-Blown Surroundings, astro-ph/0309733
- [29] Gal-Yam, A. ve ark. (2004), The J-Band Light Curve of SN 2003lw, Associated with GRB 031203, astro-ph/0403608
- [30] Mazzali, P. A. ve ark. (2003), The Type Ic Hypernova SN 2003dh/GRB 030329, astro-ph/0309555
- [31] Nakamura, T. ve ark. (2000), Light Curve and Spectral Models for the Hypernova SN 1998bw Associated With GRB 980425, astro-ph/0007010
- [32] Germany, L. M. ve ark. (1999), SN 1997cy/GRB 970514 – A New Piece in the GRB Puzzle?, astro-ph/9906096
- [33] Sollerman, J., Leibundgut, B. ve Spyromilio, J. (1998), SN 1996N – A Type Ib Supernova at Late Phases, A&A, 337, 207-215 (1998)
- [34] Malesani, D. ve ark. (2004), SN 2003lw and GRB031203: A Bright Supernova For a Faint Gamma Ray Burst, astro-ph/0405449
- [35] Nakamura, T. ve ark. (2000), Hypernova Models for SN 1998bw&SN 1997ef: Nucleosynthesis, Light Curves, and Spectra, Mem. S. A. It, 2000, Vol. 71°-2
- [36] Turatto, M. ve ark. (2000), The Properties of Supernova 1997cy Associated With GRB 970514, astro-ph/9910324
- [37] Gómez, G. ve López, R. (January 2002), Nebular Spectra of the Type Ic Supernovae 1997B and 1997X, AJ, 123:328-336
- [38] Mirabal, N. ve ark. (2006), GRB 060218/SN 2006aj: A Gamma-Ray Burst and Prompt Supernova at  $z=0.0335$ , astro-ph/0603686
- [39] Mazzali, P. A. ve ark. (2006), Models for the Type Ic Hypernova SN 2003lw Associated With GRB 031203, astro-ph/0603516
- [40] Kawabata, K. S. ve ark. (2003), On the Spectrum and Spectropolarimetry of the Type Ic Hypernova SN 2003dh/GRB 030329, astro-ph/0306155
- [41] Mazzali, P. A. (2001), The Nebular Spectra of the Hypernova SN 1998bw and Evidence for Asymmetry, astro-ph/0106095
- [42] Mazzali, P. A. (1999), A Spectroscopic Analysis of the Energetic Type Ic “Hypernova” SN 1997ef, astro-ph/0007222
- [43] Viegas-Aldrovandi, S. M. ve Contini, M. (1989), A Guideline to the Interpretation of the Narrow Emission-line Spectra of Active Galactic Nuclei, ApJ Part 1, vol. 339, April 15, 1989, p. 689-699.
- [44] Cardelli, J. A., Clayton, G. C., & Mathis, J. S. 1989, ApJ, 345, 245
- [45] Patat, F., et al. 2001, ApJ, 555, 900